

Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira
 Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre
 Filière : Science Agronomique

Licence SNV :S4

Module : Agronomie I

Année Universitaire : 2019/2020

2. Les propriétés chimiques et biologiques du sol

2.1. Les phénomènes d'échanges des ions

Le sol possède la propriété de retenir diverses substances. En effet, les cations et les anions **peuvent** être retenus par le **complexe adsorbant du sol**. L'ensemble des charges négatives du sol correspond à *la capacité d'échange cationique* du sol ou *CEC*. Cette dernière est due en ordre principal aux argiles minéralogiques et aux composés humiques.

Les ions y seront retenus sous formes échangeables. En d'autres termes, si on traite un sol par une solution contenant des ions différents de ceux retenus par le sol, il y aura échange entre les ions du complexe adsorbant et ceux de la solution.



L'absorption ionique dans le sol est considérée comme réversible car **les ions échangeables du complexe adsorbant sont en équilibres permanent avec la solution du sol**.

La CEC est utilisée comme mesure de la fertilité d'un sol en indiquant la capacité de rétention des éléments nutritifs d'un sol donné.

2.2. Les propriétés électro-ioniques du sol

Il s'agit essentiellement des propriétés colloïdales et électro-ioniques, concernant à la fois les fractions minérales et organiques du sol. Parmi ces propriétés.

- ✓ -la surface de contact, plus est importante → la réaction est importante
- ✓ -dans la plupart des cas les charges qui dominant sur les colloïdes sont négatives et qui sont dues aux :
 - Charges fixes : dues à la substitution isomorphique qui aboutit à un déficit de charge.
 - Charges de bordure : dues aux charges de bordure

2.3. Les organismes du sol

La pédoflore ou flore du sol comprend les organes souterrains des plantes (racines, tubercules, rhizomes, bulbes, etc.) et surtout des microorganismes (algues uni ou pluricellulaires, champignons, cyanobactéries et bactéries). Ces organismes participent à la minéralisation et à l'humification de la matière organique morte. Celles-ci sont toujours améliorées quand la matière organique a préalablement été fragmentée par les animaux de la pédofaune et qu'elle a transité par leur tube digestif.

2.3.1. La flore du sol

1) Les algues

Les algues autotrophes sont surtout présentes sur **la surface du sol** ou dans ses **deux ou trois premiers centimètres**. Il leur faut, en effet, pour la photosynthèse, recevoir un minimum d'éclairage.

2) les champignons

Les champignons du sol peuvent être des champignons supérieurs (basidiomycètes et ascomycètes), ou des champignons inférieurs, souvent regroupés sous le vocable de moisissures.

Les champignons sont des êtres **hétérotrophes**. Leurs populations sont donc conditionnées par la **richesse du sol en matière organique**.

Les champignons sont généralement **moins exigeants** quant aux conditions de milieu que ne le sont d'autres organismes du sol, particulièrement **comparativement aux bactéries**. La plupart des champignons s'accordent avec un **pH acide** et de **conditions aérobies**.

3) les actinomycètes

Les actinomycètes sont des bactéries ramifiées, à allure de moisissures. Ces microorganismes ont généralement **les exigences des bactéries aérobies (pH voisin de la neutralité, bonne oxygénation)**. Les actinomycètes ou plus exactement, divers produits de leur métabolisme, sont responsables des odeurs de la terre lors du labour.

4) Les bactéries

Il est bien difficile d'évaluer les populations bactériennes dans un sol. On admet souvent qu'une tonne de matière organique exigerait l'intervention de cent à deux cent kilos de bactéries. Ces bactéries ne sont, naturellement, pas présentes en même temps sur ces matières organiques. Ce sont plutôt des populations différentes qui se succèdent en fonction de l'état d'avancement de la dégradation.

Parmi les bactéries des sols, on distingue les bactéries aérobies, participant essentiellement à des réactions d'oxydation de la matière organique et les bactéries anaérobies, les réduisant au cours de fermentations.

Dans les sols, un nombre important de bactéries autotrophes jouent des rôles essentiels, en particulier dans les cycles biogéochimiques importants des éléments fondamentaux comme ceux de l'azote, du phosphore, du manganèse ou du soufre.

2.3.2. La faune du sol

Elle est divisée suivant la taille des organismes, en micr-, méso- et macrofaune.

Microfaune (moins de 0,2 mm) : constituée essentiellement de protozoaires et de nématodes, ils sont abondants dans les milieux très humides et s'attaquent à la flore bactérienne et aux actinomycètes

Mésafaune (0,2 mm à 2-4 mm) : Acariens et Collemboles qui caractérisent surtout les milieux acides. On y trouve aussi les nématodes.

Macrofaune (taille supérieure à 2-4 mm) : on trouve :

Les lombrics qui jouent un rôle essentiel dans la structuration des horizons A des mull actifs et peu acides.

Les enchytraéides, qui caractérisent surtout les milieux acides

Les larves d'insectes (diptères, coléoptères) qui sont plus abondantes dans les milieux acides et secs (moder)

Mégafaune : mammifères (taupe, mulots...)

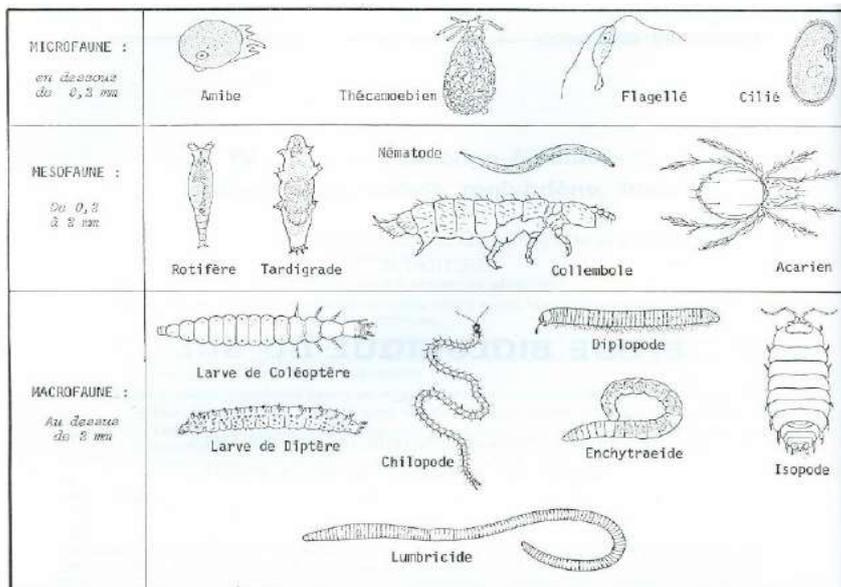


Figure : La faune du sol tiré de Soltner, 1992

2.4. Les transformations d'origine microbienne

Dans tout écosystème terrestre, les éléments nécessaires à la vie (éléments biogènes) sont incorporés dans les différentes composantes vivantes (plantes, animaux, microflore), puis libérés. On dit qu'il y a renouvellement ou *turnover* des éléments. Ces transformations cycliques subies par les éléments constituent **le cycle de la matière**. L'importance de l'intervention des micro-organismes dans le cycle de la matière varie suivant l'élément considéré. Dans le cas de carbone (C), l'azote (N) et de soufre (S), elle est capitale, puisque l'absence, voire l'inactivité des micro-organismes, entraînerait un arrêt de l'approvisionnement naturel des sols en azote et un blocage du turnover de C, N, S se traduisant par l'accumulation de ces éléments sous forme organique inutilisable par les végétaux. Dans le cas des autres éléments, tels que le phosphore (P), l'intervention microbienne est beaucoup plus discrète. Lorsqu'on fait le bilan dans le cadre d'un écosystème sol-végétation (atmosphère non comprise), on constate que les transformations microbiennes peuvent contribuer à l'enrichir ou à l'appauvrir ; à ces gains et pertes d'origine biologique peuvent s'ajouter des gains ou pertes d'origine non biologique. Lorsque l'écosystème est à l'équilibre, les gains d'origines biologique et non biologique compensent les pertes.

3. L'organisation morphologique des sols

3.1. Les organisations élémentaires

Pour découvrir le sol, il faut d'abord le regarder puis l'analyser. Aussi, les constituants du sol ne sont pas répartis de manière aléatoire. Le sol est un milieu hétérogène qui comporte des gradients et des discontinuités. Il peut s'agir des particules élémentaires ou d'agrégats de ces particules, ou de résidu de matériau originel, ou de matériaux transformés. Suivant l'échelle et le niveau d'observation, les pédologues ont créé un certain nombre de concepts pour définir ces caractères d'organisation du sol.

3.2. Les agrégats

Ils résultent de l'assemblage des particules entres-elles. En fonction de la présence ou non d'agrégats, il y a deux types de structures :

La structure fragmentaire (avec agrégat) : arrondie, anguleuse et feuilletée

La structure continue (sans agrégats) : particulaire et massive (continue)

3.3. L'atmosphère du sol (vide ou gaz du sol)

La porosité du sol est le volume occupé par l'air, l'eau et la matière vivante. On peut classer les vides selon la taille ou l'origine.

3.4. L'horizon pédologique

Les horizons pédologiques sont des couches parallèles à la surface du sol, d'épaisseurs variables et caractérisés par leurs natures et leurs relations. L'organisation du sol se traduit à l'observation directe par la différenciation en horizons. L'ensemble des horizons constitue le profil pédologique.

3.5. Le profil pédologique

C'est une coupe verticale allant de la surface jusqu'à la roche mère comprise.

3.6. La couverture pédologique

C'est le résultat de l'interaction de plusieurs facteurs du milieu. On parle de la couverture pédologique quand on veut introduire la notion de l'étendu.

3.7. La couleur du sol

C'est l'indice le plus immédiatement visible dans la description du profil. Il est le reflet de très nombreuses caractéristiques pédologiques. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue qu'il n'existe pas une relation quantitative stricte entre la couleur et les caractéristiques pédologiques. C'est une notion très subjective. Pour cette raison qu'il y a lieu d'uniformiser le langage pédologique, on a recours à des couleurs de référence regroupées dans des chartes.

4. Classification des sols

4.1. Les différentes classifications

Il existe plusieurs types de classification des sols : les classifications hiérarchisées, les référentiels et la classification référentiel FAO-UNESCO. La plupart utilisent, comme notion de base, celle du profil composé d'une succession d'horizons. Il est important donc de désigner et de définir ces horizons.

a) La classification française (CPCS, 1967)

Classification hiérarchisée pyramidale, le nom du sol donne les différentes caractéristiques à un détail plus approfondis. A l'inverse de la classification américaine, qui est morpho-analytique, la classification française est morphologique.

Du sommet de la pyramide à la base, on passe par 08 unités de différenciation. Il y a 04 unités majeures qui sont la classe, la sous classe, le groupe et le sous-groupe. Les unités mineures au nombre de 04 sont la famille, la série, le type et la phase.

Les critères de différenciation des différentes unités de la CPCS en rapport avec les 08 unités de différenciation sont succinctement vus avec les étudiants car ce n'est pas l'objectif du point traité. Par contre, les 12 classes de la CPCS sont détaillées de façon à connaître le caractère le plus important pour chaque classe de sol.

b) La classification américaine

Classification plus objective basée sur des propriétés directement observables ou mesurables. A partir de 1975, les éditions se succèdent (la 10 ème en 2006). Les américains ont inventé la notion de l'horizon diagnostique. La présence de tel ou tel d'entre eux est suffisante, en principe, pour classer un sol, a plus haut niveau de taxonomie. Donc, il faut d'abord commencer par étudier ces horizons de diagnostiques pour pouvoir classer le sol dans ce système de classification. Par la suite, on passe au pédoclimat qui introduit la notion du régime de température et d'humidité des sols. En dernier, les autres caractéristiques qui peuvent contribuer dans la définition et dans l'opération de nommer un sol. Ces trois critères sont détaillés dans des tableaux où il y les abréviations et les définitions simplifiées.

Pour ce qui est de l'organisation hiérarchique de la classification, *la Soil Taxonomy* s'arrête à quatre niveaux décrits sur l'organisation de la taxonomie américaine dans le tableau ci-dessous.

**Tableau : Niveaux d'organisation de la Taxonomie
américaine**

<p>Order (12) Définis par des horizons de diagnostic matérialisant un processus de formation du sol (ex : Horizon Argillic)</p>
<p>Suborder (60) Correspondent au régime hydrique du sol ou à des conditions environnementales: climat, géologie, végétation</p>
<p>Great Group (plus de 300) Définis par une propriété importante qui peut être la présence d'un autre horizon de diagnostic mais moins différencié</p>
<p>Subgroup (plus de 1200) Information complémentaire, par exemple sol typique ou tirant sur tel autre</p>

Le classement des sols américains fait aussi intervenir deux (02) autres niveaux qui suivent vers le bas.

- + D'abord, les familles caractérisées par des propriétés physiques et chimiques identiques au plan d'aménagement.
- + Ensuite quelques 17 000 séries caractérisées par des profils identiques et nommés par leur lieu d'observation premier ou principal

Pour exprimer l'ordre : ils sont au nombre de 12 et une syllabe représente l'ordre

- Alfisols → Alf
- Andisols → And
- Aridisols → id
- Entisols → Ent
- Gelisols → el
- Histosols → ist
- Inseptisols → ept
- Mollisols → ol
- Oxisols → ox
- Spodosols → od
- Ultisols → ult
- Vertisols → ert

Aperçu sur les sols d'Algérie et leurs relations avec le climat et la géomorphologie.

L'Algérie ne dispose pas de carte des sols d'Algérie à une échelle pratique. C'est Mr J.H. Durand qui a publié deux (02) grandes publications : « La carte Générale des sols de l'Algérie » dont il a dirigé son élaboration et son ouvrage « les sols d'Algérie » qui constitue en quelque sorte la notice détaillée de la carte élaborée publiée en 1954.

Ce qui fait le grand intérêt du travail réalisé par Durand, est que la classification des sols d'Algérie est basée sur une optique essentiellement **géographique** qui a guidé son étude. En effet, la classification des sols d'Algérie est d'abord fondée sur le facteur climatique. Ce dernier qui joue un rôle important dans la formation des sols, ensuite sur le degré d'évolution du sol, enfin, et accessoirement, sur le degré de lessivage. Les sols d'Algérie peuvent ainsi être regroupés, en fonction du facteur climatique dominant dans leur formation, en trois grands groupes de **sols zonaux** ayant chacun leurs caractères propres déterminés par les conditions du milieu commandant les processus de pédogenèse. A côté de ces sols zonaux, toute une série de **sols azonaux (locaux)** qui font l'objet d'une classification à part. Ces sols se forment non pas sous l'influence de facteurs « azonaux », mais bien de facteurs locaux qui créent, à l'intérieur d'une zone climatique, des microclimats donnant à l'évolution du sol des conditions spéciales.

4.1.1. SOLS SAHARIENS

La formation des sols dans cette région est entièrement dominée par les conditions climatiques où **le vent** joue un rôle prépondérant. On trouve dans cette catégorie, deux grands types de sols éoliens :

Sols éoliens d'ablation et dont le caractère essentiel, l'absence de terre fine, ne dépend pas de la roche mère.

L'enlèvement de toutes les parties de roches suffisamment fines pour être entraînées ne laisse sur place que des cailloux plus ou moins grossiers qui se concentrent en surface et donnent ce qu'on appelle à tort un « reg ». Le « reg » est par excellence un sol zonal, son caractère est constant : surface couverte de cailloux éolisés reposant sur une épaisseur très variable d'alluvions plus ou moins meubles.

Sols éoliens d'accumulation formés par les particules entraînées par le vent qui s'accumulent dans les zones abritées formant des dépôts de sable plus ou moins développés. Ces accumulations de sable peuvent grimper le long des versants des montagnes et former des placages sableux plus ou moins importants. La roche mère n'intervient ici que pour différencier le sable accumulé, mais ne joue aucun rôle déterminant dans la genèse du sol formé par l'action du vent.

4.1.2. SOLS DES REGIONS SEMI-ARIDES

Il n'existe pas de définition nette de la semi-aridité. Selon J.-H. Durand, on peut dire pour la pédologie qu'on passe de la zone aride à la zone semi-aride lorsque la **végétation**, entretenue par une pluviométrie encore faible (de **200 à 500** mm par an), est suffisante pour freiner l'action du vent dont le rôle devient secondaire dans la pédogenèse.

C'est pourquoi on peut dire que le sol zonal est, dans ces conditions, dû à l'équilibre vent-pluie dans la zone semi-aride.

L'armoïse blanche et l'alfa qui constituent la végétation de ces régions ont un enracinement assez profond pour pouvoir résister à la sécheresse.

Les roches mères sont en général calcifères. Elles constituent cependant un facteur de différenciation donnant, suivant leur nature : des sols contenant du calcaire ou du gypse (classé **sols calciques ou gypseux**), et des sols qui n'en contiennent pas (**sols « en équilibre »**), mais ces derniers sont rares.

Mais, d'une façon générale, l'étude des sols des régions semi-arides montre que ces sols ne sont pas normalement riches en sels solubles. Par contre, il est fréquent d'y rencontrer des solontchak (sols salins) dans les bas-fonds mal drainés ou alimentés en eau par une nappe phréatique superficielle. Il en est de même d'ailleurs dans les régions sahariennes. Le bilan hydrique (précipitation – l'évapotranspiration potentielle) étant déficitaire pour les deux premiers types de sols pendant une bonne partie de l'année.

4.1.3. SOLS DES REGIONSTELIENNES HUMIDES

Les sols de ces régions humides peuvent se définir par leur mode de formation original : entraînement de substances en profondeur sous l'action des eaux d'infiltration. Mais cette migration est conditionnée par la nature de la roche mère, très variable dans le Tell algérien du fait de sa structure plissée. D'où une grande variété de sols dont le seul caractère commun est un lessivage plus ou moins poussé, et que J.-H. Durand classe en trois grands groupes. Le groupe calcaire comporte tous les sols formés à partir de roches calcaires. Le Groupe non-calcaire, qui comporte les sols formés sur roche mère non calcaire. Le Groupe des terres rouges méditerranéennes : il s'agit des sols fortement rubéfiés qui se rencontrent fréquemment en Algérie. Leur aspect est variable suivant les régions, et on peut trouver ces sols en profils normaux sur des terrasses alluviales ou mélangés intimement à des affleurements de roches mères.

4.1.4. SOLS AZONAUX (LOCAUX)

A peu près toutes les variétés de sols « azonaux » se retrouvent en Algérie. Il y a aussi, ceux qui n'ont qu'une extension très limitée comme les sols tourbeux et les sols de marais, mais, il faut tenir deux séries de sols locaux particulièrement importants en Algérie : les sols salins et les sols à encroûtement

Les sols salins, qui contiennent ou ont contenu aux premiers stades de leur évolution un excès de sels solubles, sont très répandus dans le Tell algérien et dans les Hautes Plaines où ils forment de vastes placages aux alentours des chotts. Ce sont surtout des solonchaks où les chlorures de sodium sont en quantités telles (plus de 0,2 %) que la végétation naturelle de la région laisse place à une végétation halophile qui disparaît elle-même lorsque la proportion de sels augmente trop.

L'origine des sels peut être variée. Ils proviennent souvent de la décomposition de roches salifères sous l'influence des agents climatiques.

Les sols à encroûtement sont particulièrement nombreux en Algérie. Ils ne constituent pas un type de sol original, mais se caractérisent par la formation d'une croûte, plus ou moins épaisse et souvent très dure, au sommet du profil, formant un encroûtement calcaire, gypseux ou salin. Ces encroûtements résultent d'une remontée capillaire de substances dissoutes dans l'eau. Dans tous les profils à encroûtement calcaire, le matériau encroûté n'est pas en surface mais à une certaine profondeur. La croûte calcaire proprement dite, ou croûte zonaire, constitue une véritable carapace continue. Ce n'est pas un sol, mais un dépôt de nappe. Elle résulte en effet du ruissellement en nappe sur des surfaces en faible pente d'eau chargée de bicarbonate de chaux, soumise ensuite à un échauffement provoquant l'évaporation de l'eau et la précipitation du calcaire.

On a souvent confondu, avec les croûtes calcaires proprement dites, certaines formations calcaires ou gypseuses d'aspect pulvérulent. Les calcaires pulvérulents surtout couvrent de grandes surfaces dans la partie occidentale des Hautes Plaines autour des chotts. Ils reposent en général sur des calcaires lacustres. Ce sont des formations de dépôt aqueux qui se forment par précipitation du bicarbonate de chaux en solution dans l'eau par suite de son échauffement et du départ du gaz carbonique d'équilibre. Ce ne sont donc que des calcaires précipités par voie chimique : une boue calcaire se dépose rapidement et vient tapisser le fond des lagunes.

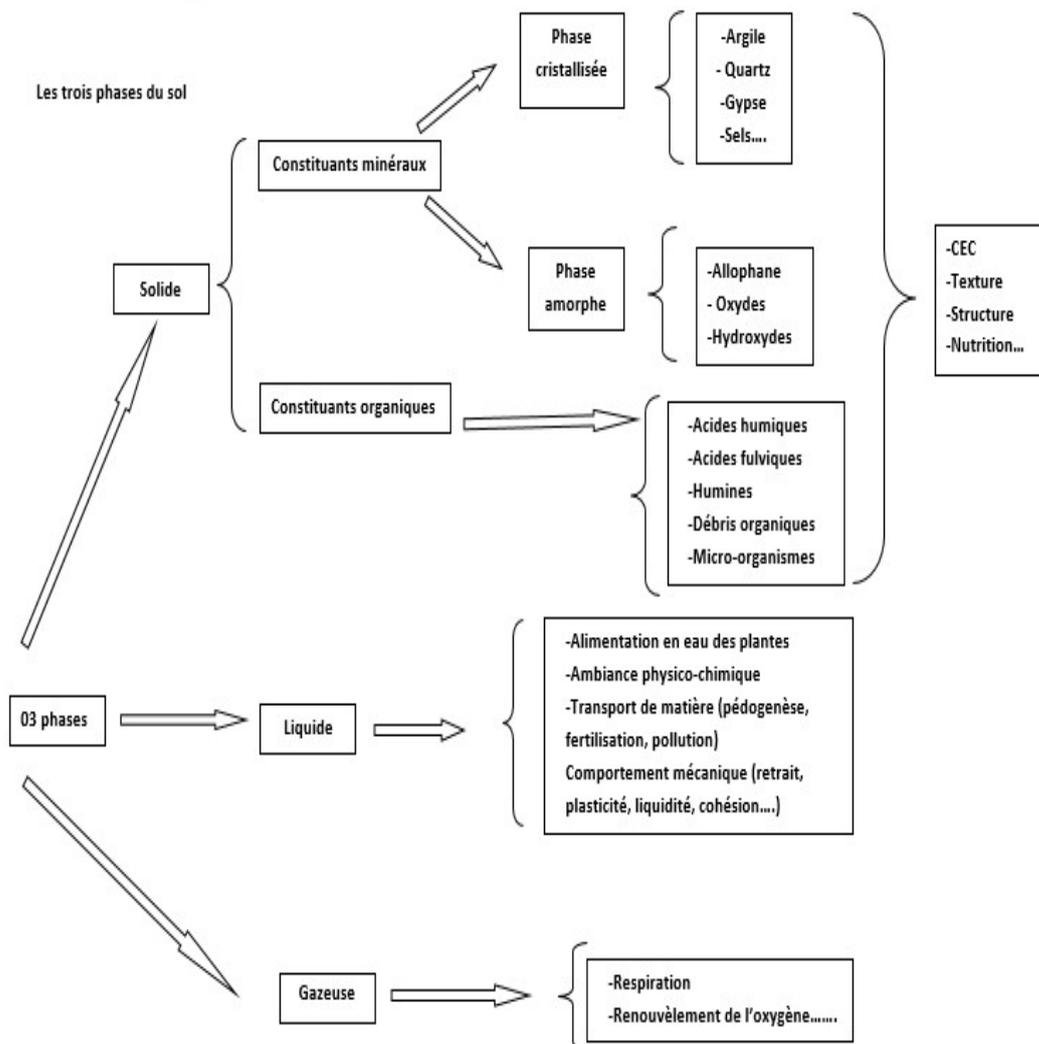
Les gypses pulvérulents, beaucoup moins répandus, sont des dépôts typiques de nappes d'eau salée, chotts et sebkhas. Leur dépôt est dû à l'évaporation de l'eau et à sa concentration jusqu'à saturation. Lorsque la concentration augmente, les sels plus solubles se déposent à leur tour sous forme de cristaux plus ou moins fins, dépôts lagunaires typiques.

B- L'eau

1. Introduction

L'étude de l'eau du sol comporte 02 aspects, un aspect physique et un autre dynamique. Le premier est en relation avec la capacité de rétention en eau du sol qui est en rapport directe avec la disponibilité en eau du sol pour les plantes. Le deuxième aspect, concerne la circulation de l'eau dans le sol, c'est-à-dire les transferts verticaux et latéraux de la phase liquide du sol. Ces 02 aspects dépendent de façon directe ou indirecte de la porosité du sol (nature, type et diamètre).

2. Relations entre les trois phases du sol



3. Mesure des volumes occupés par les différentes phases du sol (partie cours et TD)

- Porosité du sol f (%) = $(V_f/V_t)*100 = (V_a + V_w)*100/V_t$

- Humidité Volumique (%) = $(V_w/V_t) *100$

- Humidité Pondérale $\omega = M_w/M_s$

- Indice des vides $e = V_t/V_s = (V_a + V_w) / V_t$

- Teneur en eau volumique $\theta = V_w / V_t$

- Teneur relative de l'air $f_a = V_a/V_t$

- Degré de saturation en eau $\theta_s = V_w / V_f = V_w / (V_a + V_w)$

- Volume spécifique $V_b = V_t/M_s$

- Densité réelle $d_r = M_s / V_s$

- Densité apparente à l'état sec $d_{a \text{ sec}} = M_s / V_t = M_s / (V_s + V_a + V_w)$

- Densité apparente à l'état humide $d_{a \text{ humide}} = M_t / V_t = (M_s + M_w) / (V_s + V_a + V_w)$

- Relation entre porosité, d_a et d_r : f (%) = $1 - \frac{d_a \text{ sec}}{d_r}$

$$f$$
 (%) = $(d_r - d_a \text{ sec}) / d_r$

4. Sources de l'eau dans le sol

Les sources de l'eau dans le sol sont de 03 ordres :

- Les précipitations atmosphériques
- Les nappes phréatiques
- Les écoulements hypodermiques.

Donc, l'eau du sol peut être apportée à partir des pluies, de la remontée capillaire (à partir des nappes) et elle est perdue par évaporation, drainage, gravité....

5. Les états de l'eau dans le sol

L'eau dans le sol se trouve sous trois états. Si l'on sature l'eau du sol (la totalité de la porosité est occupée par de l'eau), on pourra l'assimiler à une éponge, on observe :

5.1. L'eau de gravité : ou eau de saturation

C'est l'eau occupant momentanément ou de façon plus ou moins permanente les pores les plus grossiers du sol (la macroporosité). Cette eau est soumise à la pesanteur et n'est donc pas retenue par le sol. Elle s'écoule d'abord rapidement, puis de plus en plus lentement quittant les espaces de vides es plus grands qui se remplacent par l'air.

Lorsque cette eau cesse de s'écouler (la terre est ressuyée), on atteint ce qu'on appelle le taux d'humidité à la capacité au champ, une valeur qui traduit la capacité de sol à retenir l'eau.

5.2. L'eau capillaire

C'est l'eau restante dans le sol après ressuyage et qui correspond à l'eau qui se trouve dans les pores à diamètre inférieur à 10 μm . il y a une partie de cette eau capillaire qui est utilisée par la plante (diamètre compris entre 0,2 et 10 μm) et une autre partie non absorbable par les plantes (diamètre inférieur à 0,2 μm). Cette dernière est très énergiquement retenue par les pores très fins avec une force supérieure à 15 atm (donc, la plante n'a pas la force pour extraire cette eau)

5.3. L'eau hygroscopique

Il s'agit d'une mince pellicule d'eau entourant les particules du minérales et organiques. Très très énergiquement retenue et n'est pas susceptible à aucun mouvement et n'est pas absorbable par les plantes.

6. Les formes de l'eau dans le sol

- 6.1. Eau de constitution** : se trouve dans le réseau cristallin des argiles et qui ne disparaît pas qu'après séchage de 450°C et plus. Non disponible aux végétaux.
- 6.2. Eau hygroscopique ou pelliculaire** : il s'agit de l'eau absorbée aux dépens de l'humidité atmosphérique par condensation. Elle forme une fine pellicule autour des particules solides d'où son appellation d'eau pelliculaire. Très énergiquement retenue par les forces d'adsorptions et donc, non absorbable par les végétaux.
- 6.3. Eau capillaire** : occupe les pores dont le diamètre est inférieur à 10µm et également autour des particules solides pour former des films d'hydratation. C'est ce qui reste après ressuyage du profil divisé en deux utilisable et non utilisable.
- 6.4. Eau gravitaire** : occupe les pores dont le diamètre est supérieur à 10µm. Elle se trouve plus ou moins rapidement évacuée hors du profil.

7. Les forces de rétention de l'eau dans le sol :

En agriculture, c'est l'eau retenue dans le sol qui est prise en considération, car, c'est cette eau qui va être utilisée (en partie) par les plantes.

Dans le sol, l'eau est soumise soit à des forces capillaires, ou bien à des forces de pesanteurs.

Les mouvements de l'eau sont descendants quand les forces de pesanteur sont supérieures aux forces de rétention (capillaires) et le contraire est vrai.

7.1. Les forces de pesanteur

Elles sont dues aux forces de gravité et aux forces hydrostatiques. Elles sont responsables des mouvements descendants de l'eau. C'est donc ces forces qui régissent les phénomènes de filtration et de drainage.

7.2. Les forces capillaires

C'est l'ensemble des forces de capillarité et des forces d'adsorption (ou d'adhésion). Elles régissent les phénomènes de remontée capillaire et de rétention de l'eau dans le sol.

7.2.1. Les forces de capillarité

Sont dues à la nature du capillaire. Avec un schéma illustrant, l'eau monte dans les tubes ayant le rayon le plus petit là où les forces de capillarités sont les plus importantes.

Ce phénomène de remontée capillaire est dû à *l'angle de contact de l'eau sur les surfaces solides* (plus l'angle de contact est faible, l'eau est mieux retenue par le solide et donc, la force de rétention est plus importante). Aussi, à la tension superficielle qui correspond aux forces qui se manifestent à l'interface entre le liquide et le gaz. C'est la différence de pression entre la phase liquide et la phase gazeuse (ce qui explique la formation du ménisque) et en fonction de la nature du liquide, la remontée dans le tube capillaire est plus ou moins importante.

C'est donc à cause de ces deux phénomènes qu'il y a remontée capillaire.

7.2.2. Les forces d'adsorption

Ces des forces de rétentions très fortes, où l'adsorption de l'eau sur les surfaces solides est de nature électrostatique. Ici, les molécules d'eau se fixent aux forces chargées des solides et sont retenues par des forces de rétention très fortes jusqu'à avoir une structure rigide (7 à 8 couches de molécules d'eau. Ces forces sont responsables de la formation de pellicules d'eau autour des particules solides

8. Le potentiel de l'eau dans le sol

L'eau peut être définie soit par sa *teneur* et sa *forme* ou bien son *état énergétique*. Par rapport à son état énergétique, l'eau est soumise soit à une *énergie cinétique* ou une *énergie potentielle*.

8.1. L'énergie cinétique :

Elle est proportionnelle au carré de la vitesse $E_C = \frac{1}{2} mv^2$

Elle est importante dans deux (02) cas :

- + le cas où la masse est importante (on assiste aux grandes gouttes de pluie),
- + le cas où la vitesse est importante (il s'agit de l'effet de la pente), dans ce dernier cas, si la pente est élevée, on assiste au phénomène de l'érosion du sol (un rôle dans la pédogenèse).

8.2.L'énergie potentielle :

L' E_p est la différence d'énergie entre l'énergie spécifique libre de l'eau du sol et l'eau de référence. Sachant que l'eau de référence est une eau libre (non retenue), pure, qui se situe à la même pression atmosphérique, à la même altitude et à la même température.

Le niveau de l'énergie potentielle de l'eau dans le sol est très variable d'un point à un autre. C'est cette différence d'énergie qui fait que l'eau circule dans le sol du potentiel le plus élevé au potentiel le plus faible en obéissant à la tendance universelle pour chaque particule de matière (y compris l'eau) de se mettre en équilibre avec son voisinage et donc de se déplacer d'un point où l' E_p est plus élevée vers un point où l' E_p est moins élevée.

Il est à noter que l'eau est soumise à une série de champs de forces qui font que son potentiel est inférieur à celui de l'eau libre.

Ces champs de force sont dus dans un premier temps à l'attraction de l'eau et à

- la pression de la phase gazeuse, on parle du potentiel matriciel (ou de pression)
- la gravité, on parle du potentiel gravitaire
- la présence de sels, on parle du potentiel osmotique

On peut donc écrire que :

Ψ_t (potentiel total du sol) = Ψ_g (potentiel gravitaire) + Ψ_p (potentiel de pression) + Ψ_o (potentiel Osmotique).

8.2.1. Potentiel de gravité Ψ_g

Il est fonction de l'altitude de l'eau dans le sol par rapport à un niveau de référence et indépendant des conditions physico-chimiques de l'eau.

Quand le sol est saturé, tous les pores sont remplis d'eau, le potentiel de gravité est important et les forces de capillarité deviennent négligeables. Ce qui explique que la circulation de l'eau est du haut vers le bas On peut écrire : $\Psi_t = \Psi_g$

8.2.2. Potentiel de pression Ψ_t

8.2.2.1. Potentiel de pression positif (de submersion)

Il se développe sur les surfaces libres de l'eau, sur les nappes phréatiques. Appelé aussi potentiel de submersion, le potentiel de pression positif est important dans les lacs, mers. Dans le cas des études, ce potentiel n'est pas important (revient à 0) car nos sols ne sont pas gorgés d'eau.

8.2.2.2. Potentiel de pression négatif (capillaire, de succion de l'eau par le sol)

Appelé aussi potentiel de capillarité, matriciel ou de succion de l'eau par le sol. Il est dû aux facteurs de capillarité et d'adsorption. C'est le cas du sol quand il n'est pas saturé. Il traduit la perte d'énergie de l'eau retenue dans le sol par rapport à l'eau libre (non retenue). Plus le sol est sec, plus l'eau est énergiquement liée à la matrice (potentiel matriciel est important en valeur absolue).

8.2.3. Potentiel osmotique

Il est dû à la concentration des sels dans le sol. Plus la teneur en sel est élevée, plus la pression osmotique est élevée et la plante aura des difficultés pour absorber l'eau. C'est pour cette raison qu'il faut ramener beaucoup plus d'eau dans les sols salés par rapport aux autres types de sols pour le diluer.

Les sols salés sont physiologiquement secs, car ils contiennent l'eau mais la plante ne va pas en profiter.

En pratique, seul le potentiel de pression négatif qui est pris en considération. Ce potentiel matriciel est une pression qui peut être exprimée en :

g/cm²

Atmosphère

Cm d'eau

Bar

k pascal

Pour extraire (éliminer) toute l'eau, du sol, il faut une pression de l'ordre de 10 000 atm. ce qui est une très grande pression car $10\ 000\ atm = 10\ 000 \times 1033\ cm\ d'eau$

Pour éviter de manipuler des chiffres importants, on exprime cette pression en logarithme décimal au lieu du cm d'eau d'où la notion du pF (potentiel free) tel que

pF=log₁₀ h (cm) avec h : le potentiel matriciel en valeur absolue exprimé en cm d'eau

C'est la perte d'énergie libre de l'eau dans le sol par rapport à l'eau de référence

- Valeurs caractéristiques de l'énergie de l'eau dans le sol

✚ **pF 2,54** : l'expérience a montré que dans un sol à texture équilibrée, on sature le sol et on le laisse ressuyer (perdre son eau par gravité). Au bout de 48 heures, le sol ne va plus perdre son eau. On mesure la pression $P=1/3$ atm.

Le point pF 2,5 est fonction de la texture

Sol argileux : pF=3

Sol limoneux pF=2,5

Sol sableux pF=2

Le pF2,5 présente un intérêt agronomique, car il faut connaître l'humidité à cette pression à partir de laquelle le sol est saturé en eau : donc il faut irriguer de façon à ne pas dépasser cette limite car l'eau sera perdue par drainage.

✚ **pF 4,2** : pour que les plantes s'alimentent, elle applique une force de succion supérieure à celle du sol. L'expérience montre que d'une façon générale, la plante suce l'eau jusqu'à une pression de 15 atm, c'est le point de pF 4,2 qui exprime la force de succion maximale des plantes cultivées. A partir de ce point, l'humidité du sol est liée (non utilisée par les plantes et si on n'irrigue pas, la plante crève)

9. Les mouvements de l'eau dans le sol

Après une pluie ou une irrigation, l'eau suit 02 grands itinéraires dans le sol concernant sa circulation, la gravité (si le sol est saturé) et la diffusion capillaire (si le sol est insaturé).

9.1. La gravité : elle est responsable des mouvements de ruissellement latéraux, des drainages obliques et des mouvements descendant dans le sol. Il s'agit des premiers mouvements qui s'expriment après une pluie et quand le sol est saturé.

9.2. La diffusion capillaire : elle est responsable des mouvements de l'eau dans tous les sens et es due à la différence de l'énergie potentiel.

9.2.1. La circulation dans tous les sens : on dit que le sol atteint son équilibre quand l'énergie potentiel et la même dans tous les points. Dans le cas contraire, c'est-à-dire que quand cette énergie diffère d'un point à un autre, il se produit des transferts dans le sens des énergies décroissantes, c'est-à-dire, de l'énergie potentielle la plus élevée (en valeur absolue) vers la moins élevée. Autrement dit, des valeurs de pF les basses vers les valeurs de pF les plus élevées, ou bien de l'endroit le plus humide vers l'endroit le moins humide (vers le plus sec).

9.2.2. La circulation en milieu saturé : en milieu saturé, le sol se comporte comme un milieu inerte (on apporte une goutte d'eau, et il y a une autre goutte équivalente qui sera perdue de l'autre cote). Alors, il n'y a pas d'énergie qui régit le déplacement de cette eau. Dans le sol, les pores ne sont pas uniformes et non lisses, mais sont très irréguliers, tortueux, interconnectés et rugueux et l'écoulement est gêné par les différents étranglements, par l'air piégé.....etc. Donc, la vitesse de l'eau varie d'un point à un autre d'un même sol et même le long d'un même parcours. C'est pourquoi on prend la moyenne globale des vitesses de l'écoulement (ce qu'on appelle flux). Aussi, on considère que le sol est un milieu uniforme et l'écoulement étant réparti sur toute la section (espace solide et liquide inclus). Ici, on peut appliquer la loi de DARCY pour mesurer la perméabilité (K) :

$Q=K S I$ avec ;

Q : débit (cm^3/s)

K : perméabilité (cm/s)

S : section de passage de l'eau $S =\pi r^2$

I : gradient hydraulique = $\Delta H/L$ (ΔH est la différence entre les deux niveaux d'eau ou perte de charge)

$K = Q/SI$

Quand le sol est saturé, tous les pores conduisent l'eau et la conductivité hydraulique est son maximum (elle est très élevée dans les sols sableux)

Normes d'interprétation de la perméabilité (Aubert, 1979)

Vitesse d'infiltration	K (cm / heure)
Lente	0-2
Moyenne	2-6,5
Rapide	6,5-25
Très rapide	>25

9.2.3. La circulation en milieu insaturé : comparativement à la circulation en milieu saturé, au fur et à mesure que le sol se dessèche, ce sont les pores les plus gros qui se vident les premiers et l'écoulement continue dans les pores fins. De ce fait, l'écoulement ne se fait pas à travers tous les pores (une première différence), et plus le sol se dessèche, plus la perméabilité devient petite (deuxième différence).

En milieu non saturé, la conductivité est à son maximum en sols argileux (par rapport à celle en milieu saturé).